



<http://opn.to/a/KkUiI>

## NOTA TÉCNICA

# Utilización de Sistemas Satelitales para la nivelación de campos arroceros

## *Use of Satellite Systems Technology for Leveling Rice Fields*

Ing. Armando Sánchez Mendoza<sup>\*</sup>, Dra. Aymara García López<sup>1</sup>, MSc. Víctor M. Tejada Marrero<sup>1</sup>, Ing. José Ma. Agüero<sup>1</sup>, Ing. Reinol Concepción Okawa<sup>III</sup>, Dr. José Alberto Vilalta Alonso<sup>IV</sup>, MSc. Sarilena Ramos-Díaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>II</sup> Empresa Agricultura Científica (AgriCien), Costa Rica.

<sup>III</sup> Empresa Agroindustrial de Granos (EAIG), Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

<sup>IV</sup> Universidad Tecnológica de La Habana- CUJAE, Facultad de Ingeniería Industrial, Marianao, La Habana, Cuba.

**RESUMEN.** Dentro del marco del Programa de Desarrollo Arrocero de Cuba, tiene una particular importancia la introducción de técnicas asociadas a la Agricultura de Precisión que aseguren una mayor eficiencia en el uso del agua y manejo del cultivo en estos sistemas. Este trabajo presenta los resultados preliminares de la evaluación de equipos de Tecnología de Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS) para realizar levantamiento topográfico y nivelación de suelos en arroz. El área seleccionada fue la Unidad Empresarial de Base Agrícola “Cubanacán” de la Empresa Agroindustrial de Granos en Los Palacios, Pinar del Río. Se evaluó el uso del Kit de Topografía y Diseño Tecnología GNSS junto a la Tecnología Láser para realizar levantamiento topográfico, y además para la nivelación de suelos, se compararon las tecnologías Láser, GNSS y el alisamiento mecánico sin controlador automático. En las pruebas de levantamientos topográficos se demostró que con la Tecnología GNSS se obtuvo una productividad de 9 ha h<sup>-1</sup> y un índice de consumo promedio de combustible de 0,22 L ha<sup>-1</sup>. En las pruebas de nivelación de los suelos, con GNSS se redujo en 70% el volumen de tierra a mover usando la técnica de pendiente variable. De forma preliminar, se constató que la altura de la lámina de agua se mantuvo por debajo de 10 cm para GNSS; mientras que en el Láser y Land Plane se incrementaron hasta 15 cm o más. Lo anterior evidenció los beneficios ambientales de la Tecnología GNSS en el ahorro del agua y la conservación de suelos.

**Palabras clave:** laser, pendiente variable, eficiencia del riego, arroz

**ABSTRACT.** Within the framework of the Rice Development Program of Cuba, the introduction of techniques associated with Precision Agriculture that ensure greater efficiency in water use and crop management in these systems is of particular importance. This paper presents the preliminary results of the evaluation of Global Navigation Satellite Systems Technology (GNSS) equipment for surveying and leveling soils in rice. The selected area was in “Cubanacán” Agricultural Enterprise in Los Palacios, Pinar del Río province. The use of Topography and Design Kit GNSS Technology was evaluated along with the Laser Technology for surveying, and in addition to ground leveling, the Laser, GNSS technologies and mechanical smoothing without automatic controller were compared. The topographic survey tests showed that with GNSS Technology a productivity of 9 ha h<sup>-1</sup> and an average fuel consumption index of 0,22 L ha<sup>-1</sup> were obtained. In soil leveling tests, with GNSS the volume of soil to be moved was reduced by 70% using the variable slope technique. Preliminarily, it was found that the height of the water sheet was kept below 10 cm for GNSS; while in the Laser and Land Plane they increased up to 15 cm or more. The above evidenced the environmental benefits of GNSS Technology in water saving and soil conservation.

**Keywords:** laser, lane leveling, irrigation efficiency, rice

## INTRODUCCIÓN

En Cuba, el arroz representa la principal fuente de alimento para la población. La demanda nacional de este cereal alcanza las 700 mil toneladas con un índice de consumo anual de casi 70 kg por persona (IIGranos, 2014), siendo una

\*Autor para correspondencia: Armando Sánchez Mendoza, e-mail: automatico@boyeros.iagric.cu

Recibido: 25/02/2019.

Aprobado: 13/03/2020.

de las cifras más altas a nivel mundial (FAOSTAT, 2019). Sin embargo, a pesar de que existen condiciones adecuadas de suelo, clima, agua, variedades, para el crecimiento y desarrollo del cultivo, la producción nacional solo satisface el 40 % de la demanda. Esto implica importar más de 400 mil toneladas al año. El incremento de la producción de este cereal, es esencial para contribuir al Programa de Autoabastecimiento Alimentario Municipal del país.

En los últimos años los rendimientos que se obtienen del arroz como promedio se encuentran entre 3 y 4 t ha<sup>-1</sup> (II-Granos, 2014; ONEI, 2017; FAOSTAT, 2019). Estos valores representan menos del 50 % del potencial productivo de las variedades cubanas cuando han sido evaluadas en condiciones experimentales (II-Granos, 2014; Ruíz *et al.*, 2016). Dentro de los principales problemas que afectan el incremento de las producciones están el inadecuado manejo del cultivo y las tecnologías, bajo aprovechamiento del período de siembra en la época óptima, la incidencia de los cambios climáticos, entre otros (Ruíz *et al.*, 2016).

La falta de nivelación de los campos es otro de los factores limitantes del rendimiento con alta prevalencia en las áreas arroceras, que ha sido identificado como prioridad dentro del Programa de Desarrollo Arrocerero Nacional. La nivelación, facilita la implementación de buenas prácticas agronómicas, eleva la eficiencia en la aplicación de agua, disminuye las normas de riego, mejora la uniformidad del riego, elimina el encharcamiento en las áreas, permite mayor distribución poblacional de las plantas y eficiencia en el uso de los insumos principalmente el nitrógeno (Naresh *et al.*, 2012; 2014; Kumar *et al.*, 2017).

En este sentido, se ha demostrado que el levantamiento topográfico es la base fundamental para la proyección de la nivelación. Es la primera fase de estudio técnico y descriptivo de un área determinada, donde se examinan las alteraciones existentes en el terreno que deben ser enmendadas para lograr mejor crecimiento y desarrollo de los cultivos (Agüero, 2015; AgriCien, 2016; Sabogal, 2016). Generalmente, la metodología utilizada para realizar el levantamiento topográfico que se toma de referencia, la parcela se divide en cuadrículas de 20 x 20 m, se colocan estacas en cada intersección y las mediciones se efectúan con equipos Láser o con Estación Total. Esto permite la obtención de mapas a escala 1:1000 con curvas de nivel con equidistancia de 0,10 m, que considera la ubicación y las referencias planimétricas y altimétricas de los bancos de nivelación (López *et al.*, 2016; Sabogal, 2016; Martínez *et al.*, 2018). Esta metodología tiene algunos inconvenientes, como el tiempo de entrega de la información resultante que tarda alrededor de 30 a 40 días, requiere de mucha mano de obra y más tiempo de trabajo de gabinete una vez realizado el levantamiento.

En Cuba, se practica el uso del Land Plane para realizar labores de alisamiento en los campos de arroz. Sin embargo, para efectuar una nivelación de mayor precisión, se ha introducido el uso de la Tecnología Láser (Sierra *et al.*, 2012; II-Granos, 2014; Martínez *et al.*, 2018). Varios autores han recomendado dicha tecnología, debido a que ofrece ventajas en comparación con el empleo del Land Plane y se vincula a una mayor eficiencia de aplicación de agua, reducción del consumo de agua, ganancia

neto e incremento de los rendimientos (Sierra *et al.*, 2012; Temizel *et al.*, 2012; Naresh *et al.*, 2014; Das *et al.*, 2018; Rajkumar *et al.*, 2018; Sapkal *et al.*, 2019).

En la actualidad existe una tendencia mundial a la práctica de una Agricultura de Precisión (AP). Ésta se basa, en el uso de Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones (Gil, 2008; Lago *et al.*, 2011; Suprpto *et al.*, 2016; Bucci *et al.*, 2018). La AP, ha sido introducida en áreas arroceras con excelentes resultados en el incremento de los rendimientos (40- 50%); la eficiencia en el uso del agua y la optimización de recursos para reducir los costos de producción (Agüero, 2015; González y Alonso, 2016; Shehzad, 2016; Suprpto *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2017; Bucci *et al.*, 2018).

De forma general, los principios de operación de un sistema GNSS constan de tres pasos para optimizar la nivelación del terreno y son: levantamiento de datos, diseño y ejecución de la nivelación. En el primer paso, el operador hace un levantamiento de datos del campo a nivelar o drenar. Luego, basándose en esta información, se crea un diseño que optimice de la mejor manera el nivelado o drenaje a realizar. Finalmente, se nivela el área siguiendo el diseño predeterminado y usando guía GNSS (Agüero, 2015; AgriCien, 2016; López *et al.*, 2016). Como ventajas se ha evidenciado que la Tecnología GNSS agiliza la realización del levantamiento topográfico y permite mayor precisión en la nivelación de los suelos. Supera a la Tecnología Láser en economía y tiempo de ejecución y, además, por los efectos positivos que genera en la conservación de suelos, dado a que el volumen de tierra a mover es significativamente inferior (Agüero, 2015; AgriCien, 2016).

Dentro de los tipos de tecnologías GNSS se promocionan las siguientes marcas comerciales: TOPCON, TRIMBLE, DITCHASSIST, entre otras (Trimble, 2011; AgriCien, 2016; Pelaéz, 2015; López *et al.*, 2016). De ellas, a través de un Convenio de Colaboración entre el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) y la Empresa Agricultura Científica de Costa Rica (AgriCien), se propuso efectuar prueba de los equipos: Kit de Topografía y diseño y Kit de Nivelación a pendiente variable sistema 310 de TOPCON, con el objetivo principal de evaluar esta tecnología, para realizar levantamiento topográfico, obtener mapas de diseño, trazados de diques y nivelación de precisión en áreas de arroz, y comparando con las tecnologías Land Plane y Láser, con el fin de introducir la AP en las condiciones de Cuba.

## MÉTODOS

### Área experimental

El experimento se realizó en la Unidad Empresarial de Base Agrícola Cubanacán (UEBA) perteneciente a la Empresa Agroindustrial de Granos (EAIG) Los Palacios, en la provincia de Pinar del Río, que es considerada la tercera en importancia para la producción de arroz en Cuba (ONE, 2010). Se seleccionó un área total de 117 ha, distribuidas en tres variantes de tratamientos experimentales, que difirieron en la realización del levantamiento topográfico, la nivelación y el trazado de los diques.

## Tratamientos

La descripción de cada tratamiento fue la siguiente:

- **Tratamiento 1 ( $T_1$ ).** Campo 92, con un área de 54 ha. Tecnología Tradicional con alisamiento mediante Land Plane.
- **Tratamiento 2 ( $T_2$ ).** Campo 90, con un área de 34 ha. Tecnología de Nivelación guiada por n Sistema Láser.
- **Tratamiento 3 ( $T_3$ ).** Campo 91, con un área de 29 ha. Tecnología de Nivelación GNSS con Sistema 310 GNSS a Pendiente Variable.

## Descripción técnica general del equipamiento GNSS

**Kit de Topografía y diseño (Marca TOPCON).** Se utilizó para realizar levantamiento topográfico, conocer las condiciones y características del área; así como obtener los mapas de diseño para la nivelación y trazado de los diques. Se compone de: dos estaciones base Hiper AG: una fija y otra móvil, Laptop de campo (Panasonic) con la instalación del software AgForm-3D (Figura 1) (AgriCien, 2016).



FIGURA 1. Estación Base, Estación Móvil y laptop corriendo software AGform-3D.

**Kit de Nivelación Sistema 310 (Marca TOPCON).** Se empleó para realizar la nivelación en el campo del tratamiento  $T_3$ . Para el funcionamiento de equipo se requiere la obtención del mapa de diseño de nivelación creados con el kit de topografía. Se compone de: Estación base que recibe la señal y se conecta a las antenas RTK; una Consola X30 donde se muestran las zonas de corte y relleno para la guía del operador, Controlador MC-R3 y Antena PG A1 (Figura 2) (AgriCien, 2016).



FIGURA 2. Kit de Nivelación RTK.

## Condiciones de cultivo

**Preparación de suelos:** En las tres variantes se utilizó la preparación de suelo en seco. En todos los casos, las primeras labores fueron similares, roturación, cruce (grada pesada o arado), alisamiento y mullido (Alfonso *et al.*, 2014; IIGranos, 2014).

**Levantamiento topográfico:** En los Tratamientos  $T_1$  y  $T_2$ , se usó el levantamiento topográfico con Tecnología Láser, que se denominará de referencia, de acuerdo a la metodología descrita por Martínez *et al.* (2018) con el apoyo de una regla guía y una base fija Láser (emisor). En el Tratamiento  $T_3$ , se empleó la Tecnología GNSS con el uso del Kit de Topografía y Diseño, marca TOPCON, acoplado al tractor BELARUS

modelo 1025.2. En todos los tratamientos, al finalizar cada levantamiento se procedió a generar los mapas de diseño más apropiado y de mejor ajuste usando el software AgForm-3D propuesto por Agüero (2015) y AgriCien (2016). En los campos donde se utiliza la nivelación con Tecnología Láser ( $T_2$ ) y GNSS ( $T_3$ ) se hizo una comprobación del levantamiento topográfico final para la identificación y corrección de diferencias entre diseños propuestos y ejecutados.

**Diseños de nivelación:** Se realizó en los campos donde se niveló con Láser y GNSS (Figura 3). Utilizando la información del levantamiento topográfico y con el programa AgForm3D, se crearon los mapas de curvas de nivel, cálculos de cortes y rellenos, balances de movimientos, mapas de cortes y rellenos.

Para el área nivelada con la Tecnología Láser ( $T_2$ ), se generaron diseños con pendiente fija, doble pendiente o pendiente 0. En la Tecnología GNSS ( $T_3$ ), se generó el diseño de pendiente

variable, que nunca se había empleado en Cuba y que tiene como ventaja que respeta la línea natural de curvas del campo y muestra una gran disminución del volumen de tierra a mover.

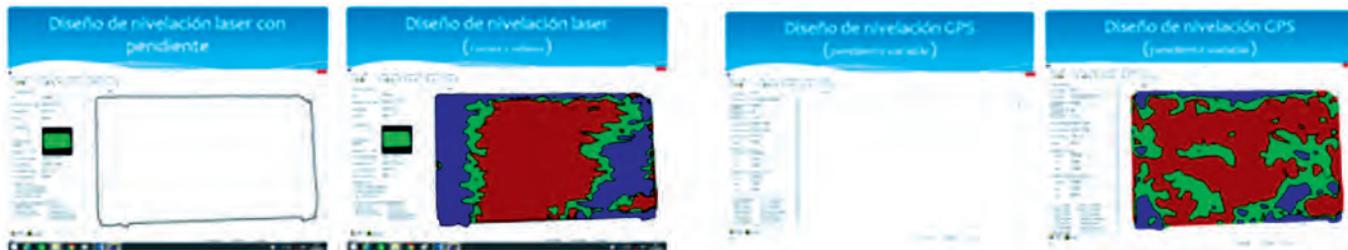


FIGURA 3. Diseños de Nivelación Láser y GNSS.

Se realizaron ajustes en función de los intereses y posibilidades económica del usuario. Inmediatamente el archivo de diseño se transfirió vía bluetooth al operario del equipo que ejecuta la nivelación y posteriormente se cargó en la consola, instalada en el tractor.

**Ejecución de la nivelación:** Se estudiaron tres variantes de nivelación, de acuerdo a:

$T_1$ : Tecnología Tradicional con Land Plane. Se empleó un tractor Belarus y se acopló un Land Plane.

$T_2$ : Tecnología de Nivelación con Sistema Láser. Se usó un tractor New Holland + rufa refinadora con Sistema Láser, compuesto por una estación Láser fija como emisor del diseño, el receptor Láser, la refinadora MARA (3 m de ancho de trabajo) y el controlador hidráulico posicionado en cabina.

$T_3$ : Tecnología de Nivelación con Sistema 310 GNSS a Pendiente Variable. Un tractor YTO modelo 1804 + rufa refinadora con Topcon Sistema 310 GNSS, los equipos y accesorios del sistema GNSS se acoplaron a la maquinaria existente en el área. La antena se ubicó encima de la refinadora de control hidráulico ILGI (3 m de ancho de trabajo) controlada por el MC-R3 (controlador de navegación GNSS) y contando con las señales de corrección RTK de la base fija Hiper AgForm.

**Trazado y construcción de Diques:** En los tres campos para el diseño y trazado de los diques se utilizó el Kit de topografía y diseño de TOPCON. En el campo nivelado con Tecnología GNSS ( $T_3$ ), se hizo con Tractor + diqueadora + rodillo compactador. En todos los tratamientos los diques se construyeron a una altura no mayor de 15 cm.

**Siembra directa:** Se realizó la siembra directa a chorillo con sembradora directa mecánica Baldan, norma de 130 kg ha<sup>-1</sup> para todos los tratamientos, en un suelo arcilloso arenoso. La fecha de siembra fue en la época lluviosa o de primavera de 2016, el 1ro de julio en las áreas  $T_1$  y  $T_2$  y el 4 de julio en  $T_3$ . La germinación ocurrió el 11 de julio de 2016 para  $T_1$  y  $T_2$ , y 21 de julio de 2016 para  $T_3$ .

**Variedad:** Se utilizó la variedad Selección 1, de ciclo medio, de 139 días para la campaña de siembra en frío y de 118 días para primavera. Presenta alto potencial de rendimiento agrícola para las siembras efectuadas en ambas campañas (Alfonso *et al.*, 2014; IIGranos, 2014).

**Fertilización:** Se realizó según recomendaciones del Instructivo Técnico del Cultivo de Arroz y del paquete tecnológico de esta variedad (Alfonso *et al.*, 2014; IIGranos, 2014). Se utilizó Urea (46 %), Superfosfato triple (46 %) y Cloruro de

potasio (60 %) como portadores de nitrógeno, fósforo y potasio; respectivamente. Los fertilizantes se aplicaron a los 20, 37 y 68 DDG, con dosis total de 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, 110 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo y 90 kg ha<sup>-1</sup> de potasio; respectivamente.

**Aplicación de productos:** Para el control de malezas, plagas y enfermedades se siguió lo establecido en el Instructivo Técnico del Cultivo de Arroz (Alfonso *et al.*, 2014; IIGranos, 2014).

**Manejo del agua.** En los tratamientos  $T_1$  y  $T_2$ , se realizó de acuerdo a lo establecido en la EAIG y al Instructivo Técnico del Arroz (Alfonso *et al.*, 2014; IIGranos, 2014). En el  $T_3$ , se mantuvo la altura de la lámina de agua entre 5 y 10 cm. A partir de la experiencia de los anegadores que atienden las áreas seleccionadas, se estimó el manejo de agua de riego, a través de la evaluación de la altura de la lámina de agua y el tiempo del primer riego. Las normas de riego fueron las acordadas en el II Encuentro Nacional de Riego (Aleman *et al.*, 1987) utilizadas según Resolución 287/2015 (INRH, 2015).

**Atenciones culturales:** El resto de las labores se efectuaron según lo establecido en el Instructivo Técnico del Arroz (Alfonso *et al.*, 2014; IIGranos, 2014).

**Evaluación:** Para la evaluación de los equipos GNSS, se determinaron los siguientes parámetros técnicos: Área beneficiada (ha), Tiempos de Levantamiento topográfico y Nivelación (h), Consumo de combustible (L. ha<sup>-1</sup>), Volumen de suelo a mover (m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup>).

Se usaron varias normas y documentos como:

- Agrinfor 2008, Instructivo Técnico de Normalización “Perritaje Técnico”.
- Agrinfor 2008, Instructivo Técnico de Normalización “Determinación de las condiciones de prueba”.
- Agrinfor 2008, Instructivo Técnico de Normalización “Evaluación tecnológico explotativa”.
- Modelos y manuales de equipos diseñados para propósitos similares.
- Manual del Operador Sistema 310 TOPCON.
- Manual de Operación y Configuración del equipo Topcon **Hiper AG + AgForm 3D**.
- Manual de Uso de Kit Topográfico AgForm-3D

## RESULTADOS Y DISCUSION

### **Levantamiento topográfico:**

Los índices tecnológicos y explotativos obtenidos del levantamiento topográfico se muestran en la Tabla 1 y Figura 4.

Se apreció que con el uso de la Tecnología GNSS que se corresponde con el Tratamiento T<sub>3</sub>, se encontró un comportamiento superior a T<sub>2</sub>, en cuanto a productividad, eficiencia y precisión, lo cual se correspondió con lo informado por Agüero (2015) y Agri-

Cien (2016). Se logró aventajar en siete veces la productividad de la metodología de referencia empleada en T<sub>2</sub>. No se compara con T<sub>1</sub> debido en que para llevar a cabo la tarea de alisamiento mecánico con Land Plane no se realizó levantamiento topográfico.



Figura 4. Levantamiento Topográfico con el KIT de Topografía Topcon.

TABLA 1. Índices de la evaluación tecnológico explotativa del levantamiento topográfico

Denominación de los índices	UM	T <sub>2</sub> (Láser)	T <sub>3</sub> (GNSS)
Espaciamiento de cuadrículas	m	20	15-18
Espaciamiento entre puntos	m	20	5
Puntos de lectura por hectárea	ptos	25	112
Velocidad real de trabajo	km·h <sup>-1</sup>	1,68	10,8
Tiempo limpio	h	9,5	13,20
Superficie levantada	ha	48	120
Productividad real por tiempo limpio	ha·h <sup>-1</sup>	2,01	9
Hombres días	Homb·d <sup>1</sup>	3	1
Consumo de combustible	L·ha <sup>-1</sup>	0	0,74

Por otra parte, se evidenció que disminuyó el espaciamiento entre puntos de lectura de 20 en el Tratamiento T<sub>2</sub> a 5 m en el T<sub>3</sub> (Figura 4). Esto favoreció la cantidad de puntos de lectura por ha, 25 para T<sub>2</sub> y 112 para T<sub>3</sub>. Además, para el caso del levantamiento topográfico con Tecnología Láser (T<sub>2</sub>), se requirió de una brigada de al menos tres trabajadores que garanticen un correcto resultado en cuanto a lectura, posicionamiento y registro de los datos de altimetría; así como se ha demostrado que se obtiene una productividad de 0,208 ha h<sup>-1</sup>. Por el contrario, para el levantamiento con Tecnología GNSS (T<sub>3</sub>), solo se necesitó un operador, con un mínimo de conocimientos de trabajo con el software AgForm 3D, y se obtuvo una productividad de 9 ha h<sup>-1</sup>. Aunque T<sub>3</sub> implicó un gasto de combustible adicional al usar un medio de transporte, en este caso un tractor, se estimó que son menores los gastos como resultado del ahorro por concepto de salario de los operadores, una mejor precisión del levantamiento, con lo cual se obtuvo mayor productividad del trabajo.

Del mismo modo, es de resaltar que durante la ejecución del trazado de los diques se constató que con la Tecnología basada en el GNSS (T<sub>3</sub>) se redujo el número de labores, en comparación con la Tecnología que tradicionalmente se efectúa en la EAIG (IIGranos, 2014). El trazado, levante y compactación de diques se hizo en una sola labor, logrando multiplicar la productividad del trabajo y menor costo por concepto de preparación de suelos. Se demostró la factibilidad del empleo del Kit de Topografía y

Diseño, que también permitió que los mapas de diseño puedan transferir o exportar a consolas de equipos de nivelación.

Resultados similares con el uso de los equipos evaluados en este trabajo han sido informados por Agüero (2015) y AgriCien (2016), que demuestran las ventajas del Kit de Topografía y Diseño. Dentro ellas, se resalta, que es más productivo, rápido y económico que el método tradicional con puntos tomados a estación total o nivel óptico de precisión. Se benefician desde 100 hasta 200 ha día<sup>-1</sup>; mientras que con el método tradicional se obtienen de 10 a 20 ha día<sup>-1</sup>. Es mejor el modelamiento digital de las elevaciones del terreno por tener hasta más que 100 puntos de datos por cada hectárea. Facilita la toma de decisiones para la mejora del drenaje superficial al momento de hacer la topografía, sin necesidad de efectuar procesos posteriores que provoquen demoras en otras oficinas. Es más flexible para visualizar los campos y hacer los diseños según las condiciones reales del área. Se comparten los archivos de topografía y diseños entre un número mayor de ingenieros y decisores, con el fin de optimizar los diseños y también para llevar control de obra y avance. Se exportan archivos de levantamientos para la creación de un mosaico regional de topografía real de los campos de las fincas de producción.

**Nivelación:**

Al evaluar los parámetros técnicos de la nivelación (Tabla 2), se constataron las ventajas de la Tecnología del Tratamiento

T<sub>3</sub> respecto a T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, por concepto de tiempo de ejecución del diseño de nivelación. Este caso, apoyado en un software profesional AgForm 3D, diseñado con este propósito e instalado en la misma Laptop de campo empleada con el Kit de Topografía. El software contribuyó obtener información en tiempo real inmediatamente después de levantado el campo, un mapa en tres dimensiones con cinco opciones de modelos de diseño diferentes (Agüero, 2015; AgriCien, 2016).

La Tecnología del Tratamiento T<sub>3</sub> (GNSS), ofreció la posibilidad de ejecutar diseños a pendiente variables con mejores ajustes (Figura 5), demostrado una de las principales ventajas de este método. Lo anterior permitió seguir los patrones na-

turales de drenaje y disminuyó el volumen de tierra a mover por hectáreas en un 70%. Se realizaron las variaciones de la altura de corte o relleno según la ubicación del equipo. Además, superó al tratamiento T<sub>2</sub> (Láser), al realizar trabajos con múltiples equipos simultáneamente unidos a una misma estación base en un radio de 2 a 2,5 Km, sin pérdidas de la señal por inclemencias del tiempo o interferencia, lo que es común durante la explotación de la Tecnología Láser (Agüero, 2015; AgriCien, 2016). No se representa ningún dato comparativo en las tareas de diseño de nivelación con T<sub>1</sub> debido a que solo se rectifica la nivelación del propio campo sin necesidad de controlar ninguna pendiente en esta labor de alisamiento.

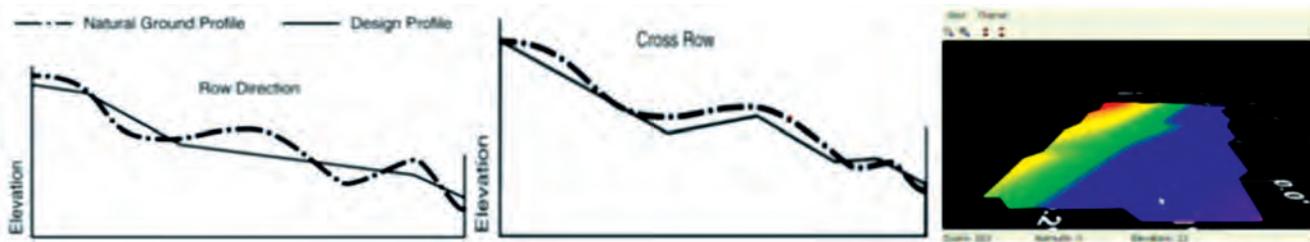


FIGURA 5. Diseño de Nivelación con Pendiente Variable y vista del Proyecto en 3D.

TABLA 2. Índices de la evaluación tecnológico explotativa del diseño de nivelación por tecnología

Diseño de nivelación	UM	T <sub>2</sub> (Láser)	T <sub>3</sub> (GNSS)
Tiempo de limpio de ejecución (27,4 ha)	h	15,34	0,08*
Corte máximo	m	0,24	0,183
Relleno máximo	m	0,38	0,185
Volumen de corte por hectárea	m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	418	135
Pendiente	-	Plana o fija	Variable
Precisión	mm	5	2

En la Tabla 3, se exponen los índices de la evaluación tecnológica y de explotación del refinado por Tecnología. Como se observa, se obtuvo diferencias en el tiempo de ejecución de la nivelación. En la Tecnología Láser (T<sub>2</sub>), se necesitaron 14,28 h para nivelar una hectárea, mientras que empleando la Tecnología GNSS (T<sub>3</sub>), solo se requirieron 4 h.

TABLA 3. Índices de la evaluación tecnológico explotativa del refinado por tecnología

Denominación de los índices	UM	T <sub>1</sub> (Tradicional)	T <sub>2</sub> (Láser)	T <sub>3</sub> (GNSS)
Velocidad real de trabajo	km·h <sup>-1</sup>	3,5	3,4	3,8
Ancho de trabajo	m		3	3
Tiempo limpio	h	55,8	207,1	114,8
Superficie elaborada	ha	18,4	14,5	28,7
Número de pases	pases·ha <sup>-1</sup>	3	10	4

Este resultado fue lógico teniendo en cuenta que el volumen de tierra a mover por unidad de área fue tres veces mayor en el diseño Láser (T<sub>2</sub>) y por consiguiente la profundidad de cortes, se hicieron mayor número de pases, lo que también infiere en un gasto mayor de combustible. En el caso del tratamiento T<sub>1</sub>, basada en el Land Plane (Tecnología Tradicional), se ejecutó un alisamiento del terreno, que no constituye una nivelación (Álvarez, 2017; Martínez *et al.*, 2018).

**Resultados preliminares en el manejo de agua:**

En este trabajo, según referencia de los técnicos y operarios el uso de la Tecnología GNSS permitió obtener diques

con altura menor de 15 cm que contribuyó a mejor manejo del agua. El primer riego se efectuó como promedio en menos tiempo entre 36 y 48 h. Además, en áreas de la UEBA Sierra Maestra donde se utilizaban 6 anegadores, ahora se utilizaron 3, lo que contribuyó a la disminución de los costos del riego por concepto de salario.

También se logró mantener pequeñas y uniformes láminas de agua en las áreas. Aun cuando estos valores fueron estimados, en el área donde se usó la Tecnología Láser (T<sub>2</sub>) la altura de la lámina de agua se mantuvo entre 15 y 20 cm, alcanzado hasta 35 cm en el área de la Tecnología Tradicional (T<sub>1</sub>). Con el

empleo de la Tecnología GNSS ( $T_3$ ), el trazado de diques con alta precisión y la calidad de la nivelación permitió lograr una altura de la lámina de agua entre 5 y 10 cm. Lo antes expuesto, garantiza mayor uniformidad del riego y del establecimiento de la población (Agüero, 2015; AgriCien, 2016).

Utilizando la Tecnología Láser para la nivelación de áreas de arroz en la EAIG Sur del Jíbaro, Álvarez (2017), obtuvo valores en el manejo de la lámina de agua que oscilaron entre 4 – 8 cm, en contraste con la variante tradicional de nivelación donde se alcanzó entre 5 y 20 cm. Este comportamiento incidió en una disminución del consumo de agua por unidad de área, lográndose un ahorro significativo de la misma, a favor del Láser.

Teniendo en cuenta la disminución de la disponibilidad de agua de riego y la productividad de los cultivos y el aumento de la demanda de alimentos, se requiere de estudios que permitan la identificación y la adopción rápida de tecnologías científicas modernas para una gestión eficiente del agua. Al respecto, diversos autores informan las ventajas de efectuar la nivelación con la Tecnología Láser en comparación con el método tradicional. Naresh *et al.* (2014) han enfatizado que se logró un ahorro del agua para el riego en un 21%, energía en un 31%, un incremento del rendimiento del 6,6%. La duración total del riego y la profundidad del agua aplicada se redujo a 10.9, 14.7%, en comparación con los campos nivelados tradicionales. La productividad mejoró en 33%, con un ingreso neto anual promedio de 14%.

Por su parte, Amaresh *et al* (2018), al evaluar el efecto de la nivelación Láser en el rendimiento del cultivo de trigo, encontraron un ahorro de agua de riego en el campo. Sapkal *et al* 2019, han planteado que a pesar de los beneficios del uso de la Tecnología Láser existen varias limitaciones que restringen su adopción generalizada. Una limitación importante identificada como la falta de conocimiento técnico seguido de un alto costo de nivelación.

En el ámbito internacional, de acuerdo a los criterios expresados sobre el empleo del GNSS para realizar el levantamiento topográfico, Lago *et al* (2011), han señalado en correspondencia con los resultados de este trabajo, que esta Tecnología contribuyó a recopilar datos sobre sus terrenos de cultivo y confirmaron las ventajas de la obtención de información en tiempo real. También, Kumar *et al.* (2017), plantearon que el sistema GNSS proporciona la información posicional precisa, que es útil para localizar la variabilidad espacial con precisión. López *et al* (2016) utilizando equipos de Tecnología GNSS Field Level LL AgGNSS de Trimble, para realizar levantamiento topográficos y nivelación de terrenos, demostraron la calidad de la nivelación, al respetar las pendientes naturales para evitar la remoción de la capa arable y la materia orgánica del suelo. Obtuvieron un consumo de combustible por unidad de tierra movida fue de  $0,42 \text{ L m}^{-3}$ , detectaron que el volumen de corte por ha disminuyó considerablemente después de la nivelación y se redujo el costo de la nivelación debido a que el operador usó menor tiempo de trabajo.

En Cuba la práctica del uso del Land Plane y la Tecnología Láser está muy generalizada para las áreas de arroz (II Granos, 2014). Sierra *et al* (2012) realizaron una valoración técnica y económica de la nivelación con Láser comparada

con la tradicional en el arroz de la provincia Granma. La eficiencia de aplicación del agua lograda con la Tecnología Láser, respecto a la forma Tradicional fue de 69,6%, el consumo de agua se redujo en un 17% y el incremento de los rendimientos fue de  $2,6 \text{ t ha}^{-1}$ . También en la Empresa Agroindustrial de Granos (EAIG) Sur del Jíbaro en la provincia de Sancti Spíritus desde el 2016 se reinició un Programa de Nivelación con Tecnología Láser para la recuperación integral de la infraestructura arrocera. Corregir el desnivel de las áreas es un paso imprescindible para el crecimiento productivo lo que a su vez contribuye al ahorro del 30% del agua que se consume durante el riego.

Se han demostrado los beneficios y ventajas de la nivelación con GNSS en comparación con Láser. Es menor en un 50-85% el movimiento de tierras. Se necesita menor cantidad de equipamientos tractor-traíllas y alternativamente con el mismo número de equipamientos se mejora más área que con Láser. Propicia el uso de tractores y traíllas más pequeños en potencia y dimensiones al mover menor cantidad de tierra que en Láser y, por consiguiente, ahorro de agua entre un 40 al 50% (Agüero, 2015; AgriCien, 2016).

Los resultados presentados en este trabajo constituyen las primeras experiencias en Cuba del uso de equipos GNSS y demuestran de forma preliminar las ventajas de esta Tecnología. No obstante, se necesita acometer otros ensayos experimentales con el fin de implementar alternativas tecnológicas que eviten grandes movimientos de tierra, por lo que es recomendable la adecuación en las curvas de nivel y la posterior nivelación de las áreas (Álvarez, 2017). Es por ello, se impulsan los estudios enfocados en la búsqueda de resultados de validación de la Tecnología GNSS en nuestras condiciones.

## CONCLUSIONES

- Los equipos evaluados de la Tecnología GNSS para realizar el levantamiento topográfico y diseño de nivelación resultaron eficientes para su uso en las condiciones de producción de los sistemas arroceros, incrementando en siete veces la productividad de estas labores, en más del 50% la precisión de los diseños de nivelación obtenidos, y en comparación con la tecnología Láser se infiere un ahorro de combustible en un 60% teniendo en cuenta los gases por ha durante las pruebas realizadas.
- Aunque la utilización de los equipos de la tecnología GNSS implica una inversión inicial mayor respecto a las Tecnologías Láser y la Tradicional con Land Plane, los costos estimados de la ejecución de la nivelación son menores en más del 50% ya que permitió disminuir el volumen de tierra a mover por hectáreas en un 70% y se requieren menores cantidades de unidades y menores inversiones en equipamientos (tractores, refinadoras y sistemas de control automático) para nivelar una misma superficie de terreno.
- El trabajo con pendiente variable que permite el equipamiento de Tecnología GNSS implica la posibilidad de seguir los patrones naturales de drenaje del terreno con el consiguiente beneficio medioambiental para la conservación del recurso suelo y la eficiencia del uso del agua.

- De forma preliminar el estimado del comportamiento del manejo del riego fue favorable, aunque será necesario realizar otras evaluaciones y estudios que contribuyan a mayor información del consumo de agua.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a los a todas las personas que formaron parte de esta tarea y en especial a todos los que dedicaron su valioso tiempo para que este trabajo saliera, también resaltar el apoyo de por parte de las instituciones involucradas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÜERO J.M. Informe de resultados de implementación equipos GNSS tecnología TOPCON “Avances y experiencias en el manejo de tecnología de información en arroz”, 95p, 2015.
- AgriCien. Presentación Corporativa de la Empresa Agricultura Científica, Costa Rica, 24p, 2016
- ALEMÁN, L.; GARCÍA, O.; LÓPEZ, I.; POLÓN, I.; DURANZA, A.; GUERRA, R.; PLA, A.; ÁLVAREZ, G.; RAMOS, J.J.: (primero): “Manejo del agua y normas de riego en el arroz”, En: Ministerio de la Agricultura, Instituto de Hidroeconomía, II Encuentro Nacional de Riego del Arroz, La Habana, Cuba, p. 211, noviembre de 1987.
- ALFONSO R.; ALEMÁN L.; CRUZ F.; NGUYEN T. Folleto Paquete Tecnológico para la siembra directa de la variedad Selección 1, 15p. 2014.
- ALVAREZ I. *Determinación de la Norma Total de Riego Neta en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) para 2 tipos de nivelación del suelo en el “Sur del Jibaro”*. Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo, 57 p, 2017
- AMARESH D.; LAD M.D.; CHALODIA A.L.: “Effect of laser land leveling on nutrient uptake and yield of wheat, water saving and water productivity”. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 2018; 7(2): 73-78.
- AMIN M.S.M.; ROWSHON M.K.; AIMRUM W. Paddy Water Management for Precision Farming of Rice, Dr. Uli Uhlig (Ed.), ISBN: 978-953-307-413-9, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/current-issues-of-water-management/paddy-water-management-for-precision-farming-of-rice>, 107-142 p, 2011
- BARBAT J.M.; TIMM L.C.; REICHARDT K.; PAULETTO E.A.”Impacts of land leveling on lowland soil physical properties”. *R. Bras. Ci. Solo*, 38:315-326, 2014.
- BONILLA C., TERRA José A., GUTIÉRREZ L.; ROEL Á.: “Cosechando los beneficios de la agricultura de precisión en un cultivo de arroz en Uruguay”. *Revista Agrociencia* 19 (1):112-121, 2015.
- BUCCI G.; BENTIBOGLIO D.; FINCO A.: “Precision agriculture as a driver for sustainable farming systems: State of art in literature and research”. *ResearchGate* 19:114-121, 2018
- ESTRADA M. *Calidad del agua y manejo de sus diferentes niveles para el óptimo rendimiento del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco*. Tesis de Maestría en Ciencias del Agua, 202p, 2012
- FAO. Food and Agricultural Organization. FAOSTAT Database Results. Disponible <http://faostat.fao.org>, 2019
- GIL, E. 2008. Situación actual y posibilidades de la Agricultura de Precisión. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, España, 59(1-12).
- GONZÁLEZ, M.B.; ALONSO A.M.: “Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz”. *NOVA*. 13 (26): 67-82, 2016.
- HERVIS G.; ARIAS P.P.; TEJEDA C.; HERRERA J.; LÓPEZ.: “Planificación de los recursos hidráulicos necesarios en el primer riego del arroz”. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 39(1): 3-16, 2018.
- HERVIS G.; REYES J.; HERRERA J.: “Criterios hidráulicos y validación matemática para el diseño del campo arrocero”. *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, Vol. 6, No. 3 (julio-agosto-septiembre), pp. 33-40, 2016
- IIGRANOS. Instituto de Investigaciones de Granos. Instructivo Técnico Cultivo de Arroz, 73p, 2014.
- INRH: Resolución 287/2015, Anexo 2. Índices de Consumo: Normas de Riego Netas Totales para los Cultivos Agrícolas, Inst. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Resolución, Presidencia del INRH, La Habana, Cuba, 2015.
- KUMAR, S.; KUMAR S.K.; CHAUDHARY S. Precision Farming Technologies towards Enhancing Productivity and Sustainability of Rice-Wheat Cropping System. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* ISSN: 2319-7706 6(3): 142-15, 2017.
- LAGO, C.; SEPÚLVEDA J.C.; BARROSO R.; FERNÁNDEZ F.O.; MACIÁ F.; Lorenzo J.: “Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento”. Aplicación en la agricultura de precisión. IDESIA (Chile) Enero-Abril, 29 (1): 59-69, 2011.
- LÓPEZ G.J.; HERNÁNDEZ F.R.; GAONA B.; CHAVÉZ N.; CASTILLO J.C.; RAMÍREZ J.E. Evaluación de un equipo de nivelación de terrenos mediante GNSS. *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, Vol. 6, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre), pp. 56-60, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29319.19363>
- MARTÍNEZ G.J.; ALEMÁN M.L.; POLÓN R.; MENESES J.; LEÓN O. Manual Instrucciones Técnicas sobre el manejo integrado del riego en el cultivo del arroz en Cuba, 107 p, 2018.
- NARESH R.K.; YOGESH Kumar, PANKAJ C.; DEEPESH K Ministry of Industry, Commerce, Agriculture and Fisheries. Role of precision farming for sustainability of rice-wheat cropping system in western indo gangetic plains. *Int. J. LifeSc. Bt & Pharm. Res.* ISSN 2250-3137, 1(4): 87-97, 2012.
- NARESH R. K.; SINGH S. P.; MISRA A. K.; TOMAR S. S.; KUMAR P.; KUMAR V.; KUMAR S. Evaluation of the laser leveled land leveling

- technology on crop yield and water use productivity in Western Uttar Pradesh. *African Journal of Agricultural Research*. Vol. 9(4), pp. 473-478, 23, 2014, DOI: 10.5897/AJAR12.1741.
- ONE. Oficina Nacional de Estadísticas. AGRICULTURA en CIFRAS, 2010, 42p
- ONEI: Anuario Estadístico de Cuba 2016, Inst. Oficina Nacional de Estadísticas e Información, La Habana, Cuba, 2017.
- PELAÉZ R.; *Evaluación de un sistema de control automático de profundidad variable de laboreo, empleando mapas de prescripción*. Tesis Ingeniero Mecánico Agrícola, 83p, 2015.
- RAJKUMAR R.H.; DANDEKAR A.T.; ANAND S.R.; VISHWANATHA J.; KAREGOUDAR A.V.; KUCHNUR P.H.; YOGESH K. S. Effect of Precision Land Levelling, Zero Tillage and Residue Management on Yield and Water Productivity of Wheat (*Triticum aetivum* L.) under Saline Vertisols of Tungabhadra Project Command. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 7(10): 2925-2935. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.340>.
- RUÍZ M.S.; MUÑOZ Y.A.; DELL'AMICO J.M.; POLÓN R. Manejo del agua de riego en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) por transplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial. *Cultivos Tropicales*, 37 (3): 178-186, 2016.
- SABOGAL, C.A. Medidas de calidad aplicadas a los levantamientos topográficos en Colombia. Tesis de grado Maestría en Ingeniería, 142 p, 2016
- SAIT M. S.; MUHARREM K.; MUSTAFA S.M.; YUNUS E.S. Adoption of precision agriculture technologies in developed and developing countries. *The Online Journal of Science and Technology* 8 (1): 7-15, 2018.
- SAPKAL S.; DESHMUKH B.J.; KUMAR P.; KAR A.; JHA G.K. Impact of laser land levelling technology on ricewheat production in Haryana. *International Journal of Chemical Studies* 2019; 7(1): 641-646.
- SERGIO RICARDO S.; DÍAZ A.; ACEBO Y.; RIVES N.; ALMAGUER M.; HERNÁNDEZ A. Empleo del sistema de posicionamiento global (GNSS) en el manejo de ecosistemas agrícolas sostenibles. *Ciencias de la Tierra y el Espacio* ISSN 1729-3790, 11: 69-75, 2010
- SHEHZAD I.: "Precision agriculture & sustainability in rice value chain". *Advances in Plants & Agriculture Research*. 2016; 4(2):268. DOI: 10.15406/apar.2016.04.00134
- SHITU G. A.; NAIN M. S.; RASHMI S.: "Developing extension model for uptake of precision conservation agricultural practices in developing nations: learning from rice-wheat system of Africa and India". *Current Science* 114 (4): 814-825, 2018.
- SIERRA L.C.; HERRERA J.; ALEMÁN C.; ALARCÓN R.; REYES J.: "Valoración técnica y económica de la nivelación con láser y tradicional en el arroz de la provincia Granma". *Revista Ingeniería Agrícola* ISSN-2306-1545, RNPS-0622, 2(1): pp. 17-23, 2012,
- SUPRAPTO, Anny Kartika Sari, Janoe Hendarto, Medi and Guntur Budi Herwanto. A Web-based System of Precision Farming based Agricultural Information for Rice Farming Field Consultant in Blora Regency. *International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS-IJENS* 6 (06): 1-8, 2016.
- TRIMBLE. Sistema de nivelación de terrenos. PortFolio de Productos agrícolas de Trimble, 26-27, 2011.
- TEMIZEL, K. E.; AKIN F.; Aydogan D.; EREN S.; KEVSEROGLU K.: "Determination the effect of land leveling on soil loses in rice (*Oryza sativa* l.) production areas". *Bulg. J. Agric. Sci.*, 18: 219-226, 2012.

---

*Armando Sánchez Mendoza*, especialista, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: [automatico@boyeros.iagric.cu](mailto:automatico@boyeros.iagric.cu).

*Aymara García López*, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: [automatico@boyeros.iagric.cu](mailto:automatico@boyeros.iagric.cu)

*Víctor M. Tejeda-Marrero*, Inv., Director General del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: [dirgeneral@boyeros.iagric.cu](mailto:dirgeneral@boyeros.iagric.cu)

*José Ma. Agüero*, Empresa Agricultura Científica (AgriCien), Costa Rica, e-mail: [jose.aguero@agricien.net](mailto:jose.aguero@agricien.net)

*Reinol Concepción Okawa*, Investigador, Empresa Agroindustrial de Granos, EAIG, Los Palacios, Cuba, e-mail: [automatico@boyeros.iagric.cu](mailto:automatico@boyeros.iagric.cu)

*Alberto Vilalta Alonso*, Universidad Tecnológica de La Habana- CUJAE, Facultad de Ingeniería Industrial, Marianao, La Habana, Cuba, e-mail: [automatico@boyeros.iagric.cu](mailto:automatico@boyeros.iagric.cu)

*Sarilena Ramos Díaz*, especialista, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: [automatico@boyeros.iagric.cu](mailto:automatico@boyeros.iagric.cu)  
Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia CreativeCommons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.